

PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01S 13/86, 15/02, 13/89</p>	A1	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/08111</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 26. Februar 1998 (26.02.98)</p>		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP97/04371</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 12. August 1997 (12.08.97)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 196 33 813.1 22. August 1996 (22.08.96) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHMITZ, Volker [DE/DE]; Rehbachstrasse 140, D-66125 Dudweiler (DE). WIGGEN- HAUSER, Herbert [DE/DE]; Bochumer Strasse 7, D-10555 Berlin (DE). KRAUSE, Martin [DE/DE]; Yorckstrasse 71, D-10965 Berlin (DE).</p> <p>(74) Anwalt: REBLE, KLOSE & SCHMITT; Patente + Marken, Postfach 12 15 19, D-68066 Mannheim (DE).</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> <p>(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p> </td> </tr> </table>			<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP97/04371</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 12. August 1997 (12.08.97)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 196 33 813.1 22. August 1996 (22.08.96) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHMITZ, Volker [DE/DE]; Rehbachstrasse 140, D-66125 Dudweiler (DE). WIGGEN- HAUSER, Herbert [DE/DE]; Bochumer Strasse 7, D-10555 Berlin (DE). KRAUSE, Martin [DE/DE]; Yorckstrasse 71, D-10965 Berlin (DE).</p> <p>(74) Anwalt: REBLE, KLOSE & SCHMITT; Patente + Marken, Postfach 12 15 19, D-68066 Mannheim (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP97/04371</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 12. August 1997 (12.08.97)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 196 33 813.1 22. August 1996 (22.08.96) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHMITZ, Volker [DE/DE]; Rehbachstrasse 140, D-66125 Dudweiler (DE). WIGGEN- HAUSER, Herbert [DE/DE]; Bochumer Strasse 7, D-10555 Berlin (DE). KRAUSE, Martin [DE/DE]; Yorckstrasse 71, D-10965 Berlin (DE).</p> <p>(74) Anwalt: REBLE, KLOSE & SCHMITT; Patente + Marken, Postfach 12 15 19, D-68066 Mannheim (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>			
<p>(54) Title: METHOD FOR THREE-DIMENSIONAL AND NON-DESTRUCTIVE DETECTION OF STRUCTURES</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ZERSTÖRUNGSFREIEN DREIDIMENSIONALEN ERFASSUNG VON STRUKTUREN IN BAUWERKEN</p>				
<p>(57) Abstract</p> <p>Disclosed is a method for three-dimensional and non-destructive detection of structures made of concrete or a similar material, wherein a given area is submitted to ultrasonic two-dimensional scanning, and high frequency data that vary with the scanning duration are recorded for each individual point. The volumetric image of said area is determined using a representation method, which method has to be improved for the sake of more accurately locating the structures. In the inventive method, a given area is scanned using both the ultrasonic and the radar sensing methods and two structural diagram representations are made, one based on ultrasonic data and the other on radar data, and both representations are then calibrated.</p>				

(57) Zusammenfassung

Ein Verfahren zur zerstörungsfreien dreidimensionalen Erfassung von Strukturen in Bauwerken, insbesondere aus Beton oder ähnlichen Materialien, ermöglicht einen zu untersuchenden Bereich flächenhaft mit Ultraschall abzutasten und die hochfrequenten, laufzeitabhängigen Daten für die einzelnen Punkte aufzuzeichnen. In einem Abbildungsverfahren wird das jeweilige volumenhafte Bild des untersuchten Bereiches ermittelt. Dieses Verfahren soll dahingehend weitergebildet werden, daß die Genauigkeit der Ortung von Strukturen verbessert wird. Es wird vorgeschlagen, daß der zu untersuchende Bereich sowohl mit Ultraschall als auch mit Radar abgetastet wird und daß eine Strukturdarstellung des untersuchten Bereiches sowohl auf der Grundlage der mittels Schall erfaßten Daten als auch auf der Grundlage der mittels Radar erfaßten Daten, wobei diese beiden Darstellungen kalibriert werden.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauritanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	R	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Verfahren zur zerstörungsfreien dreidimensionalen Erfassung von Strukturen in Bauwerken

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur zerstörungsfreien dreidimensionalen Erfassung von Strukturen in Bauwerken, insbesondere aus Beton oder ähnlichen Materialien, gemäß den im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Aus der DE-A-43 20 473 ist ein derartiges Verfahren bekannt, gemäß welchem die Echosignale aus dem Fernfeld eines einzigen Ultraschall-Prüfkopfes dedektierbar sind. Die Amplituden und Laufzeiten der Echosignale sind zusammen mit der Position des Ultraschall-Prüfkopfes in einer Speichereinheit als Laufzeit-Ortskurven mit zugehörigen Amplitudenwerten abspeicherbar. Aus der Gesamtheit der Laufzeit-Ortskurven sind mittels einer Filtervorrichtung, welcher einer bildgebenden Vorrichtung vorgeschaltet sind, auswählbare Anteile der abgespeicherten Ortskurven herausfilterbar.

Bei Ultraschall-Prüfverfahren werden regelmäßig Schallwellen im unteren Frequenzbereich ausgesendet und als Meßgröße wird die Vielfachreflexion von Schallwellen zwischen einem Sende- bzw. Empfangspunkt und dem zu messenden Objekt genutzt. In Frequenzdarstellungen ergeben sich hierbei signifikante Maxima, auf denen bei Kenntnis der Wellengeschwindigkeiten der Abstand zum Objekt berechnet werden kann. In der Druckschrift "Schickert, G (Hrsg.): Vorträge und Plakatberichte Internationales Symposium Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, Berichtsband 21, Berlin: DGZfP 1991, 488-504; Wüstenberg H., Möglichkeiten und Konzepte für Ultraschall-Prüfköpfe speziell für das Bauwesen" sind bezüglich des Einsatzes von Ultraschall-Echoverfahren an Bauteilen aus Beton Anregungen zur Anwendung einer künstlichen Apertur gemacht worden. Ziel ist es hierbei, die Schwierigkeiten zu ersetzen, welche bei der Verwendung großflächiger Ultraschall-Köpfe entstehen, durch die Bewegung kleiner vergleichsweise einfach aufgebauter Prüfköpfe und entsprechende Signalverarbeitung. Hierzu wurde an die Unterseite eines Betonblocks ein Beleuchtungsprüfkopf angekoppelt, wobei mittels einer Bohrung ein beugungsbedingter Schatten erzeugt wird. Durch eine numerische Speicherung der mit Amplitude und Phase registrierten Schallsignale und Rekonstruktion mit den Algorithmen der Holographie läßt sich die Größenordnung des Störers ermitteln. Nachteilig ist jedoch, daß infolge einer nicht konstanten Ankopplung merkbare Phasenfehler verursacht werden können, so daß die auf der Grundlage einer phasenempfindlichen Abtastung beruhenden Auswertung unsicher wird.

Ferner gelangen elektromagnetische Radarverfahren zum Einsatz, die auf der Grundlage basieren, daß im zu überprüfenden Material Schichten mit unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften vorhanden sind. Ein derartiges Verfahren ist bekannt aus der Druckschrift "Symposium Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, 27.2.-1.3.91 in Berlin, Berichtsband 21, Teil 2, S. 537-544/.; Verfasser: Dipl.-Ing. C. Flohrer, Hochtief, Frankfurt/Main; Dipl.-Ing. B. Bernhardt, Berlin, Das Orten von Spannbewehrung unter einer mehrlagigen Stahlbetonbewehrung". Mittels einer Antenne werden vorwiegend im Frequenzbereich zwischen 900 MHz und 2 GHz Pulse ausgesandt und empfangen. Die Tiefeninformation wird aus der Laufzeitmessung der reflektierten Signale erhalten, wobei die Ausbreitungsgeschwindigkeit aus der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum dividiert durch die Wurzel aus der mittleren Dielektrizitätskonstanten des untersuchten Materials errechnet wird. Typische Werte für Dielektrizitätskonstanten sind beispielsweise für Beton 7, Ziegel 4, Wasser 81 und Eisen unendlich. Da ferner der Wert der Dielektrizitätskonstanten feuchtigkeitsabhängig ist, erfordert die Auswertung einen

fachkundigen und erfahrenen Spezialisten. B im Radarverfahren wird eine Antenne kontinuierlich bewegt und entsprechend gelangt ein Manipulator bei den Ultraschall-Prüfverfahren zum Einsatz, welcher auf dem Prinzip der synthetischen Apertur beruhen. Aufgrund dieser Gemeinsamkeiten kann eine tiefenabhängige Darstellung des untersuchten Objekts durch Aneinanderreihen der aufgenommenen Amplituden ermöglicht werden. Aus den unterschiedlichen Laufzeiten der Signale sowie der Dielektrizitätskonstanten des Materials wird die Tiefenposition der abgebildeten Objekte abgeschätzt, doch ist die Genauigkeit der Ortung in hohem Maß u.a. vom Feuchtigkeitsgehalt des Materials oder von mit Wasser gefüllten Hohlräumen abhängig.

Des weiteren ist aus der Druckschrift "Acoustical Imaging Vol. 19, Edited by Helmut Ermert and Hans-Peter Harjes, Plenum Press, New York and London; Verfasser: Schmitz, V.; Müller, W.; Schäfer G.; Synthetic Aperture Focussing Technique - State of the Art" ein Abbildungsverfahren mit der Bezeichnung: "Synthetic Aperture Focussing Technique - SAFT" bekannt. Dieses Abbildungsverfahren ermöglicht die Berechnung des jeweiligen volumenhaften Bildes eines untersuchten Bereiches.

Schließlich ist aus der SU-A-1 364 868 ein Verfahren zur Messung der Dicke von dielektrischen Gegenständen bekannt. Gemäß diesem Verfahren werden abwechselnd elektromagnetische Wellen und Schallwellen auf den Gegenstand gerichtet und in Abhängigkeit der reflektierten Energie wird die Dicke des Gegenstandes berechnet.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, das Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, daß die Genauigkeit der Ortung von Strukturen verbessert wird. Die Ergebnisse sollen von Umgebungsvariablen und Randbedingungen weitgehend unabhängig sein. Des weiteren soll das Verfahren mit einem möglichst geringen Aufwand realisierbar sein.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur zerstörungsfreien dreidimensionalen Erfassung von Strukturen gelangt vor allem zur Bauwerksprüfung und Bauwerksüberwachung zum Einsatz. Es ermöglicht eine optimale Bestimmung von Wand- und Fundamentdicken oder von Hohlräumen in Spannkänen. Des weiteren kann die genaue Lage von Spanngliedern, Spannkänen und anderen Konstruktionselementen festgestellt werden. Auch kann in zweckmäßiger Weise mit dem erfindungsgemäßen Verfahren

in Ortung und Klassifizierung von Material Inhomogenitäten erfolgen, insbesondere f innen Rissen, welche durch Korrosion von Bewehrungsstäben verursacht werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der zu untersuchende Bereich flächenhaft sowohl mit Radar als auch mit Schall abgetastet, wobei die hochfrequenten, laufzeit-abhängigen Daten an jedem Punkt aufgezeichnet werden. Mittels eines Ultraschall-Abbildungsverfahrens, insbesondere der Synthetic Aperture Focussing Technique, nachfolgend SAFT genannt, welches ein dreidimensionales Verfahren ist, wird ein gemeinsamer Volumenbereich bildhaft erzeugt. Es werden wahlweise beliebige Schichtdicken und wahlweise diese Schichten in beliebigen Richtungen dargestellt. Diese Schichten können sowohl parallel zur Meßfläche als auch senkrecht zur Meßfläche vorgegeben werden. In zweckmäßiger Weise wird anhand von "Fingerprints" eine örtliche Kalibrierung der jeweiligen Volumenbereiche durchgeführt. Darüber hinaus wird bei der Volumenrekonstruktion mit dem besonderen und beschriebenen Integralverfahren das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert. Die Daten werden in beliebigen Schnittebenen miteinander verknüpft, wobei aufgrund der ortsgenauen Verknüpfung eine quantitative Analyse des Volumenbereiches durchgeführt wird. Somit wird eine Bestimmung unbekannter Materialien über die Kenntnis der Dielektrizitätskonstanten und der Feuchteverteilung ermöglicht.

Die Erfindung wird nachfolgend in der Zeichnung anhand besonderer Ausführungsbeispiele beschrieben, ohne daß die Erfindung hierauf eingeschränkt wird. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Flußdiagramm zur Erläuterung der grundlegenden Verfahrensschritte,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Datenerfassung mittels Ultraschall,
- Fig. 3 eine Variante zur Datenerfassung mittels Ultraschall,
- Fig. 4 schematisch die Anordnung eines Prüfkopfes,
- Fig. 5 schematisch die Anordnung zur Datenerfassung mittels Bodenradar,
- Fig. 6 die kombinierte Anordnung von Ultraschall-Prüfkopf und Radarantenne,

Fig. 7 schematisch die Bild erzeugung.

Anhand von Fig. 1 soll der grundsätzliche Verfahrensablauf näher erläutert werden, wobei den einzelnen Funktionsblöcken die nachfolgenden Funktionen zuzuordnen sind. Die Oberfläche des zu untersuchenden Bauteils wird flächenhaft abgetastet und gemäß Block 1 erfolgt zunächst die Abtastung mittels Ultraschall. In einem zweiten Schritt wird der Ultraschall-Sensor ausgewechselt und durch eine Radarantenne gemäß Block 2 ersetzt. Die Radarantenne wird ebenfalls rasterartig bewegt und erfaßt Signale aus dem gleichen Volumenbereich unterhalb der abgetasteten Fläche. Die erfaßten Signale sind pro Ort des jeweiligen Sensors hochfrequente Signale, deren Amplituden von der jeweiligen Bodenstruktur und deren zeitliche Form von dem Abstand der jeweiligen Struktur von der Oberfläche abhängen. Sämtliche in den Verfahrensschritten 1 und 2 erfaßten zeitabhängigen Signale werden in einen Speicher 3 eingegeben und gespeichert.

Aus den gespeicherten Daten wird in Abbildungsverfahren gemäß der Blöcke 4.1 und 4.2, insbesondere gemäß der "Synthetic Aperture Focussing Technique - SAFT", das jeweilige volumenhafte Bild des untersuchten Bereiches ermittelt, wie es nachfolgend noch näher zu erläutern ist. Es sei ausdrücklich festgehalten, daß aus dem untersuchten Volumenbereich keine zweidimensionalen Schnittebenen abgebildet werden, sondern für jede der beiden Verfahrenskomponenten Schall und Bodenradar jeweils ein dreidimensionales Volumen berechnet wird. Hierbei ist von Bedeutung, daß gemäß Block 5 die Strukturdarstellung des untersuchten Bereiches mittels Schall auf der Grundlage von Dichte- und Schallgeschwindigkeitsunterschieden beruht und daß demgemäß Block 6 die Strukturdarstellung des untersuchten Bereiches mittels Bodenradar von der Dielektrizitätskonstanten und folglich auch von der Feuchteverteilung abhängt. In einem erfindungswesentlichen Schritt erfolgt eine tiefenabhängige Kalibrierung der auf den beiden Verfahrenswegen erhaltenen Abbildungen. Gemäß Block 7 erfolgt somit ein Bildvergleich und eine Maßstabseichung anhand örtlicher Fingerprints. Es wurde erkannt, daß bei der dreidimensionalen Abbildung Strukturen vorliegen, welche in den beiden voneinander unabhängigen Abbildungsverfahren identifiziert werden können. Diese mit den beiden Verfahrenskomponenten gemeinsam erfaßten Strukturen, welche als Fingerprints bezeichnet werden, werden in besonders zweckmäßiger Weise zur Anpassung der Maßstäbe der beiden Abbildungen aufeinander erfindungsgemäß genutzt.

Es sei angemerkt, daß biologischen Untersuchungen vorwiegend Schnittebenen senkrecht zur Oberfläche abgebildet werden, welche regelmäßig als die y-z-Ebene bezeichnet wird. Durch das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren ist es nunmehr möglich, sowohl bei der Datenerfassung mittels Ultraschall als auch mittels Bodenradar Schnittebenen in beliebigen Ebenen auszusuchen und die bildhafte Darstellung der Bodenstrukturen mittels Bildverarbeitung zu verknüpfen, wie es im Funktionsblock 8 angedeutet ist. Bei der Bildverarbeitung können die Abbildungsstrukturen durch Ver-UND-ung, Ver-ODER-ung-, Maximumsbildung oder anderen Methoden optimiert dargestellt werden. In zweckmäßiger Weise richtet sich die Darstellung nach der Bodenstruktur. Ist die horizontale Strukturänderung von Interesse, so wird aus dem rekonstruierten Volumenbereich eine horizontale Schicht in einem vorgebbaren Dickenbereich ausgewählt. Ergeben sich hieraus interessante Schlußfolgerungen für den vertikalen Verlauf, so sind erfindungsgemäß entsprechende vertikale Schichtdickenebenen auswählbar. Darüber hinaus ist es im Rahmen der Erfindung auch möglich, den untersuchten Volumenbereich perspektivisch unter beliebigem Raumwinkel zu betrachten.

Nachdem eine maßstabsgetreue Darstellung gesichert und die Bauteilstruktur optimal dargestellt ist, erfolgt die Analyse gemäß Block 9. Diese beruht auf der Identifikation von Bereichen erhöhter Schallreflektion sowie auf der Identifikation von Bereichen unterschiedlicher Dielektrizitätskonstanten. Durch das Zusammenwirken der beiden physikalischen Parameter wird erfindungsgemäß ermöglicht, beispielsweise über die Maßstabsbeziehung die örtliche Dielektrizitätskonstante und aus dieser die Feuchtigkeit des untersuchten Bodenbereiches zu bestimmen. Ferner können über die Eichung des Bildes, welche auf der Grundlage der Ultraschall-Messung erfolgt, unbekannte Dielektrizitätskonstanten bestimmt werden, um hieraus Rückschlüsse über unbekannte Materialien zu ziehen.

Anhand von Fig. 2 werden die für die Datenerfassung mittels Ultraschall gemäß Funktionsblock 1, in Fig. 1, eingesetzten Prüftechniken erläutert. Bekanntlich können bei der Prüfkopfkopplung auf Strukturen, welche aus Stein oder Beton bestehen, Probleme aufgrund der Oberflächenrauigkeit des jeweiligen Materials auftreten. Daher ist es nicht unüblich, Mörtel einzusetzen, um einen Prüfkopf ortsfest anzukoppeln. Dies erfolgt mit einem einzigen Prüfkopf 10, welcher als Sender ausgebildet ist. Mittels des Prüfkopfes 10 wird der Schall gesendet, aber nicht empfangen. Der Empfang der reflektierten Signale an den unterschiedlichen Oberflächenpunkten

erfolgt durch Abtastung der entsprechenden Positionen mittels eines Laserstrahles. Die Rasterabstände werden den Erfordernissen entsprechend vorgegeben und als typische Rasterabstände haben sich beispielsweise $2 \times 2 \text{ cm}$ oder $5 \times 5 \text{ cm}$ als zweckmäßig erwiesen.

In der Ausführungsvariante gemäß Fig. 3 erfolgt die Abtastung mittels eines Ultraschall-Prüfkopfes 12, welcher Schall sowohl aussenden als auch empfangen kann. Dies erfolgt an vorgegebenen Stellen einer ersten Reihe, also an den Stellen x11, x12 ..., einer zweiten Reihe, also x21, x22, ... usw. der Betonwand 10. Um die Probleme der Ankopplung an die Oberfläche 18 zu lösen, gelangt die Methode der Kontakttechnik zum Einsatz.

Wie in Fig. 4 dargestellt, ist der kombinierte Prüfkopf 16 in einem Gehäuse 20 angeordnet, welches bezüglich der Betonoberfläche 18 mittels eines Ringes 22, insbesondere aus Gummi oder Styropor kombiniert mit Fett, abgedichtet wird. Durch geeignete Kanäle wird über Schläuche 24 Flüssigkeit, vorzugsweise Wasser, zu- und abgeführt, wobei lediglich das durch die Oberflächenrauhigkeit und die Saugfähigkeit des Bodens verlorene Flüssigkeit/Wasser zu ersetzen ist. Es ist zweckmäßig ein Kreislaufsystem vorgesehen, wobei die Flüssigkeit bzw. das Wasser bei jedem Durchlauf gefiltert wird.

Die Abtastung der Wand mittels Bodenradar soll anhand von Fig. 5 näher erläutert werden. Es erfolgt gleichfalls ein ortsabhängiges Aussenden von Signalen sowie deren Empfang durch Abtastung der Wand bzw. des Bauwerkes. Die Abtastung mittels Bodenradar kann zwar in zweckmäßiger Weise an den gleichen Positionen wie bei der Abtastung mit Ultraschall erfolgen, doch ist dies keine zwingende Voraussetzung. Für unterschiedliche Abtastpositionen wird zusätzlich die relative Lage aller Abtastpunkte zueinander erfaßt und/oder gespeichert.

In einer besonders zweckmäßigen Ausgestaltung gelangt eine Kombisensortechnik gemäß Fig. 6 zur Anwendung, um in vorteilhafter Weise bei der Datenerfassung Zeit einzusparen. Hierbei gelangen die anhand von Fig. 4 und 5 erläuterten Verfahrensschritte zum Einsatz. Erfindungsgemäß wird hierbei der Abstand der Radar- und der Schallsensoren derart vorgegeben, daß der Rasterabstand dx multipliziert mit einem ganzzahligen Faktor gleich oder größer 1 entspricht. Hierdurch ist automatisch sichergestellt, daß die Einschallorte von Prüfschuß zu Prüfschuß für die gewählten

Sensoren identisch übereinstimmen. In der Position P1 sind der Ultraschall-Prüfkopf 16 und die Radarantenne 26 mit ausgezogenen Linien dargestellt. Der Ultraschall-Prüfkopf 16 und die Radarantenne 26 sind in einem Abstand 28 zueinander angeordnet. In der nächsten Position P2, welche mit gestrichelten Linien angedeutet ist, sind der Ultraschall-Prüfkopf um den Weg dx versetzt. Da die jeweiligen Abstände dx der Meßpunkte entsprechend den Positionen P1 und P2 erfindungsgemäß dem Abstand 28 der Sensoren entsprechen, befindet sich in der Position P2 der Ultraschall-Prüfkopf an der gleichen Stelle wie die Radarantenne in der Position P1.

Anhand von Fig. 7 soll die dreidimensionale Bilderzeugung des Abbildungsverfahrens entsprechend den Funktionsblöcken 4.1 und 4.2 von Fig. 1 näher erläutert werden. In zweckmäßiger Weise wird die dreidimensionale Rekonstruktion nach dem Prinzip der dreidimensionalen "synthetischen Apertur" durchgeführt. An den Stellen x_{11} , x_{12} , .. wurden die Meßdaten, vorzugsweise die hochfrequenten Ultraschall- und Radardaten gespeichert. Der zu untersuchende/abzubildende Materialbereich wird in kleine Volumenzellen zerlegt. Typische Größenordnungen liegen im mm- bzw. im cm-Bereich. Die Strecke von den Meßpunkten zu den Volumenzellen wird berechnet. Mit Hilfe der Lichtgeschwindigkeit und der Dielektrizitätskonstanten ϵ wird die Strecke für den Bodenradar in Laufzeiten umgerechnet. Ferner wird mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit und der Dichte die Strecke für den Bodenschall ebenfalls in Laufzeiten umgerechnet. Somit kann aus den laufzeitmäßig abgelegten Amplitudenwerten eine ortsabhängige Zuordnung in die jeweils betroffenen Volumenzellen erfolgen. Die zu den errechneten Laufzeiten gehörenden Amplituden werden in den Volumenzellen abgelegt bzw. diesen zugeordnet. Die von sämtlichen Meßpunkten aufgenommenen Informationen werden in den Volumenzellen laufzeitkorrigiert aufsummiert. Nachfolgend wird von dem untersuchten Volumenbereich das Videosignal für die Darstellung gebildet. Es erfolgt somit aus den laufzeitmäßig abgelegten Amplitudenwerten eine ortsabhängige Zuordnung in die jeweils betroffenen Volumenzellen. Besonders vorteilhaft ist dieses Verfahren für den bei Beton eingesetzten Frequenzbereich, welcher insbesondere zwischen 50 KHz liegt, wobei die eingesetzten Prüfköpfe Schall in Winkelbereichen vorteilhaft bis zu $\pm 90^\circ$ abstrahlen.

Durch das erfindungsgemäß zum Einsatz gelangende Verfahren SAFT ist es möglich, den Einfluß von Oberflächenwellen und modeumgewandelten Wellen auf die bildhafte Darstellung weitgehend zu unterdrücken. Es ist von besonderer Bedeutung, daß, unabhängig vom Öffnungswinkel der Radarantenne oder vom Schall, die reflektieren-

den Inhomogenitäten im Boden ortsgetreu zugeordnet werden. In dem letzten Verfahrensschritt wird in dem verarbeiteten Volumenbereich das Videosignal gebildet und das Ergebnis in beliebigen Schichtebenen und Schichtrichtungen dargestellt.

In einer besonderen Ausgestaltung wird bei der Rekonstruktion nach dem Prinzip der synthetischen Apertur eine spezielle Variante der Signalauswertung vorgegeben, nämlich eine der Pulsenergie proportionale Größe. Es sei festgehalten, daß bei den bekannten SAFT-Algorithmen für jedes Volumenelement die Signalintensität zu dem entsprechenden Zeitpunkt bei jeder Prüfkopf-Position aufsummiert wird. Eine Verbesserung der Auflösung und des Signal-Rausch-Abstandes wird in zweckmäßiger Weise jedoch dadurch erreicht, daß eine der Pulsenergie proportionale Größe ausgewertet wird. Erfindungsgemäß wird zu diesem Zweck für jedes Volumenelement das Quadrat der Ultraschall-Intensität gebildet und dieses von dem erwarteten Einsatzpunkt des Echos für die gesamte Pulsdauer integriert. Da die Pulslängen am jeweiligen Ort aufgrund der frequenzabhängigen Schallschwächung und Mikrowellenschwächung nicht exakt bekannt ist, wird in zweckmäßiger Weise in einer Vorabsimulation an einem der im Volumen vorhandenen bekannten Reflektor die Pulsbreite in der Auswertung variiert und für den jeweiligen Tiefenbereich der richtige Wert bestimmt.

B zugszeichen

- 1 Datenerfassung mittels Ultraschall**
- 2 Datenerfassung mittels Bodenradar**
- 3 Speicher**
- 4 Abbildungsverfahren**
- 5 Strukturdarstellung unter Berücksichtigung von Dichte und
Schallgeschwindigkeitsunterschieden**
- 6 Strukturdarstellung unter Berücksichtigung von Unterschieden
von Dielektrizitätskonstanten**
- 7 Bildvergleich**
- 8 Bildverarbeitung**
- 9 Darstellung**
- 10 Betonwand**
- 12 Prüfkopf-Sender**
- 14 Empfänger**
- 16 kombinierter Prüfkopf**
- 18 Oberfläche**
- 20 Gehäuse**
- 22 Ring**
- 24 Schlauch**
- 26 Radarantenne**
- 28 Raster-Abstand**

Patentansprüche

1. Verfahren zur zerstörungsfreien dreidimensionalen Erfassung von Strukturen in Bauwerken, insbesondere aus Beton oder ähnlichen Materialien, gemäß welchem der zu untersuchende Bereich flächenhaft mit Ultraschall abgetastet und die hochfrequenten laufzeitabhängigen Daten für die einzelnen Punkte aufgezeichnet werden und in einem Abbildungsverfahren das jeweilige volumenhafte Bild des untersuchten Bereiches ermittelt wird,
dadurch gekennzeichnet, daß der zu untersuchende Bereich sowohl mit Ultraschall als auch mit Radar abgetastet wird und daß eine Strukturdarstellung des untersuchten Bereiches sowohl auf der Grundlage der mittels Schall erfaßten Daten als auch auf der Grundlage der mittels Radar erfaßten Daten erfolgt und daß diese beiden Darstellungen kalibriert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur vorzugsweise tiefenabhängigen Kalibrierung Strukturen genutzt werden, welche sowohl in der Strukturdarstellung aufgrund der Schall-Datenerfassung als auch in der Strukturdarstellung aufgrund der Radar-Datenerfassung vorhanden sind und/oder daß mittels dieser Strukturen, welche insbesondere als Fingerprints bezeichnet und in den beiden voneinander unabhängigen Verfahrensschritten identifiziert werden, die Anpassung der Maßstäbe der beiden Darstellungen durchgeführt wird und/ oder daß anhand derartiger Strukturen bzw. Fingerprints eine örtliche Kalibrierung der jeweiligen Volumenbereiche durchgeführt wird.
3. Verfahren, insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastung mittels Schall und die Abtastung mittels Radar an den gleichen Positionen durchgeführt wird oder daß bei Abtastung an unterschiedlichen Positionen die relative Lage aller Abtastpunkte zueinander bekannt und erfaßt ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Ultraschall-Abbildungsverfahren die Synthetic Aperture Focussing Technique - SAFT zum Einsatz gelangt, wobei das jeweilige volumenhafte Bild des untersuchten Bereiches berechnet wird und/oder daß ein dreidimensionales Volumen sowohl aus den mittels Ultraschall erfaßten Daten als auch aus den mittels Radar erfaßten Daten bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des dreidimensionalen SAFT-Ultraschall-Abbildungsverfahrens in gemeinsamem Volumenbereich bildhaft erzeugt wird und/oder daß beliebige Schichtdicken und/oder derartige Schichtdicken in vorgebbaren Richtungen darstellbar sind, wobei vorzugsweise Schichtdicken sowohl parallel zur Meßfläche als auch orthogonal zur Meßfläche darstellbar sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Volumenrekonstruktion das Signal-Rausch-Verhältnis durch ein Integralverfahren verbessert wird und/oder daß für jedes Volumenelement das Quadrat der Ultraschallintensität gebildet und dieses von dem erwarteten Einsatzpunkt des Echos für die gesamte Pulsdauer integriert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Daten beliebiger Schnittebenen des zu untersuchenden Bereiches erfaßt und miteinander verknüpft werden und/oder daß aufgrund einer ortsgenauen Verknüpfung eine quantitative Analyse des Volumenbereiches durchgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß unter Berücksichtigung der Dielektrizitätskonstanten und der Feuchteverteilung unbekannte Materialien bestimmt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Vorabsimulation an einem bekannten Reflektor, welcher in dem Volumen vorhanden ist, die Pulsbreite in der Auswertung variiert wird und daß der für den jeweiligen Tiefenbereich zutreffende Wert der Pulslängen bestimmt wird und/oder daß somit eine frequenzabhängige Schallschwächung und/oder Mikrowellenschwächung zumindest näherungsweise kompensiert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallsensor, mit welchem die Ultraschall-Abtastung erfolgt, und der Radarsensor, mit welchem die Radar-Abtastung erfolgt, einen Abstand aufweisen, welcher dem Einfachen oder einem Vielfachen des Rasterabstandes der Abtastposition entspricht.

Fig. 1

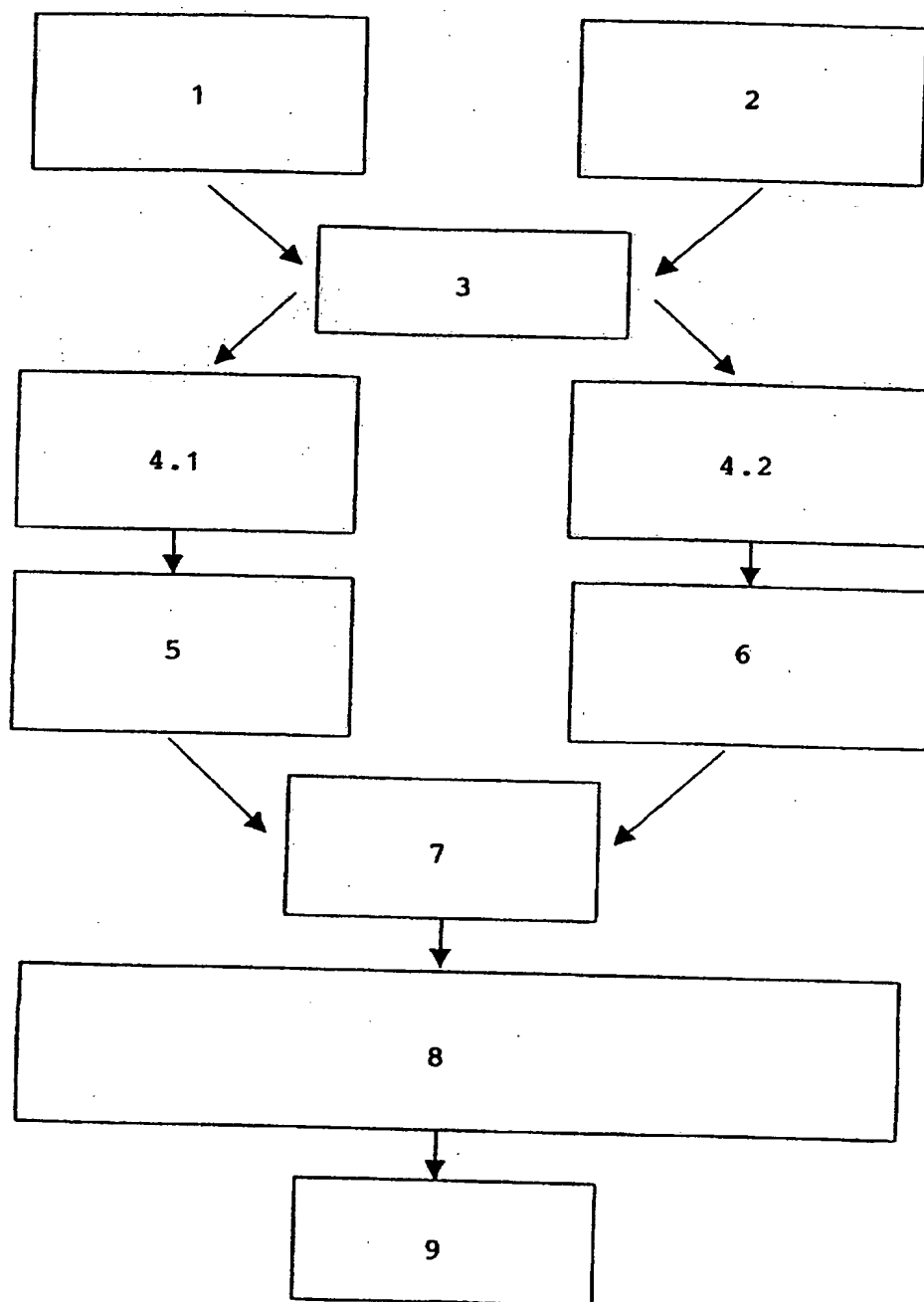


Fig. 2

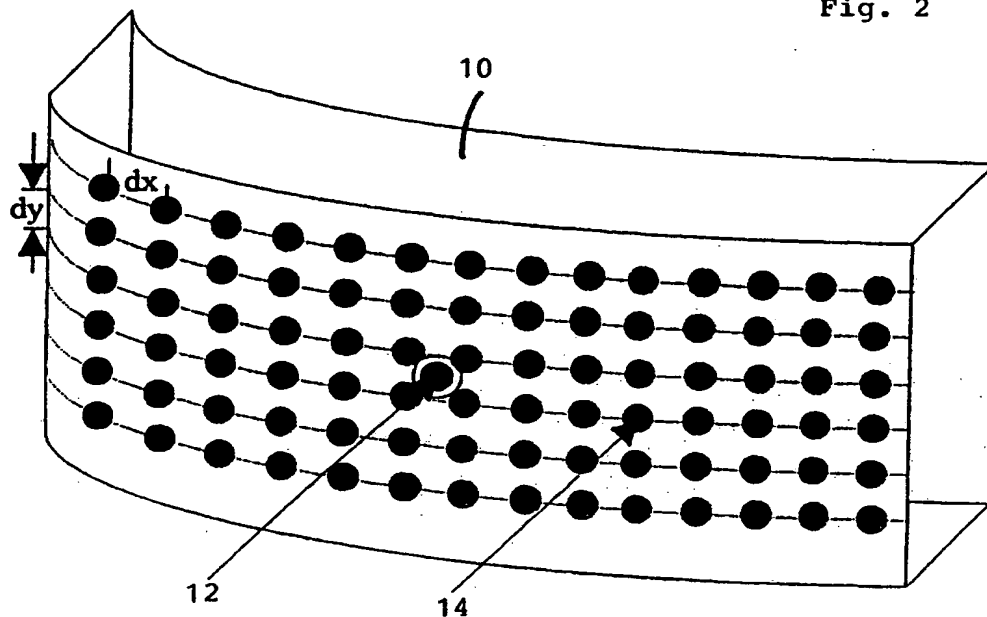


Fig. 3

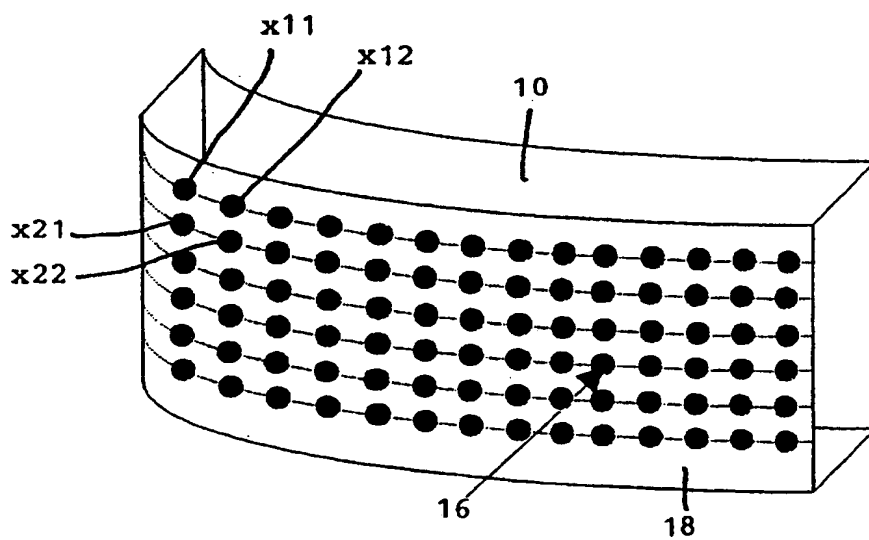


Fig. 4

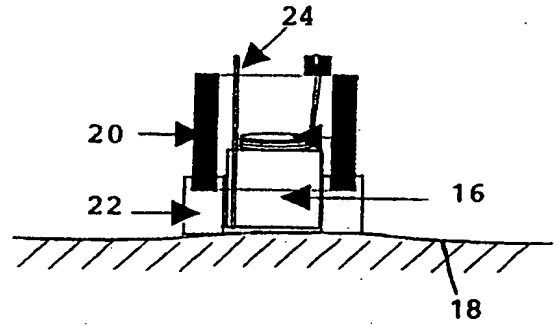


Fig. 5

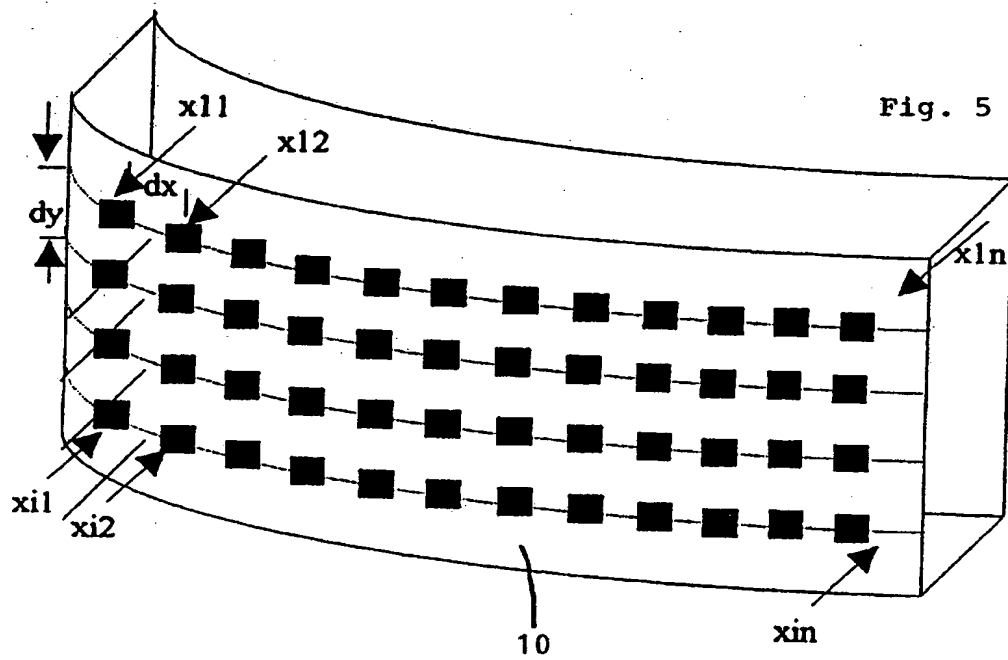


Fig. 6

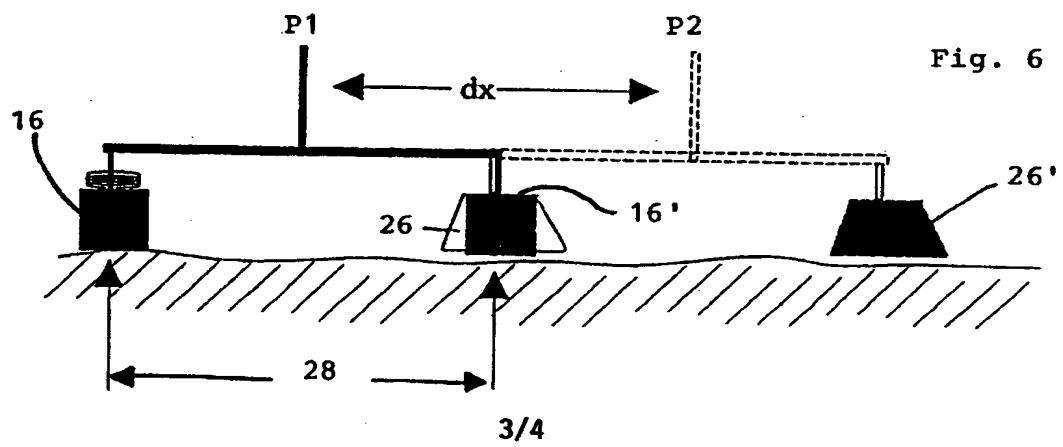
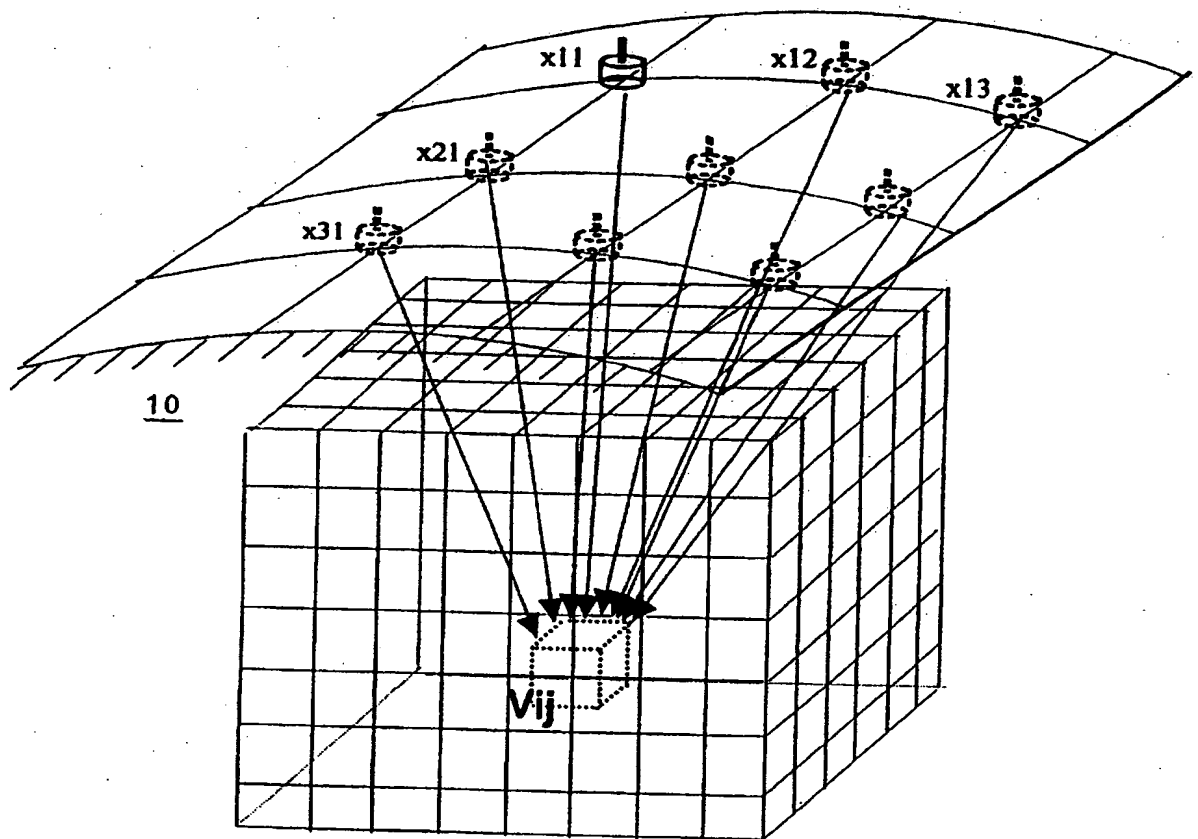


Fig. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat | Application No
PCT/EP 97/04371

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G01S13/86 G01S15/02 G01S13/89

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01S G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 96 19737 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 27 June 1996 see page 1, line 10 - line 25 see page 2, line 10 - page 3, line 26 ---	1
A	US 5 384 543 A (BIBLE ET AL.) 24 January 1995 see column 1, line 13 - column 2, line 23; figure 1 ---	1
A	DE 42 39 221 A (KROGGEL) 26 May 1994 see the whole document ---	1
A	US 5 005 147 A (KRISHEN ET AL.) 2 April 1991 see column 1, line 15 - column 2, line 13 -----	1



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *A* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 December 1997

Date of mailing of the international search report

23.12.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Augarde, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internat. Application No

PCT/EP 97/04371

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9619737 A	27-06-96	AU 4742296 A	10-07-96
		CA 2208070 A	27-06-96
		EP 0799428 A	08-10-97
		US 5519400 A	21-05-96

US 5384543 A	24-01-95	NONE	

DE 4239221 A	26-05-94	NONE	

US 5005147 A	02-04-91	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. des Aktenzeichen

PCT/EP 97/04371

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 G01S13/86 G01S15/02 G01S13/89

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01S G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 96 19737 A (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 27.Juni 1996 siehe Seite 1, Zeile 10 - Zeile 25 siehe Seite 2, Zeile 10 - Seite 3, Zeile 26 ---	1
A	US 5 384 543 A (BIBLE ET AL.) 24.Januar 1995 siehe Spalte 1, Zeile 13 - Spalte 2, Zeile 23; Abbildung 1 ---	1
A	DE 42 39 221 A (KROGGEL) 26.Mai 1994 siehe das ganze Dokument ---	1
A	US 5 005 147 A (KRISHEN ET AL.) 2.April 1991 siehe Spalte 1, Zeile 15 - Spalte 2, Zeile 13 -----	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Dezember 1997

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23. 12. 97

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Augarde, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internatic s Aktenzeichen

PCT/EP 97/04371

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9619737 A	27-06-96	AU 4742296 A	10-07-96
		CA 2208070 A	27-06-96
		EP 0799428 A	08-10-97
		US 5519400 A	21-05-96

US 5384543 A	24-01-95	KEINE	

DE 4239221 A	26-05-94	KEINE	

US 5005147 A	02-04-91	KEINE	
